6C

УДК 004.89, 004.5

О.Н. Сухоручкина
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем
НАН Украины и МОН Украины, г. Киев, Украина
sukhoru@irtc.org.ua

Интеграция компонентов интерфейса пользователя и системы управления персонального мобильного робота: пример реализации

Рассмотрены пути повышения эффективности человеко-машинного взаимодействия при интеграции структурных компонентов интеллектуальной системы управления мобильного робота и интерфейса пользователя. Приведен пример реализации комплексного программного обеспечения системы управления робота, способного автономно выполнять сформулированные пользователем задания.

Введение

В настоящее время в области робототехники наблюдается активизация разработок изделий так называемого класса персональных помощников. К ним относятся роботы различного бытового назначения (пылесосы, газонокосилки и др.), разнообразные помощники пожилым людям и инвалидам, роботы для интеллектуального досуга и пр. Такие изделия по своему функциональному назначению не могут ограничиться набором заранее заложенных программ деятельности. Необходимость выбора адекватного изменяющимся условиям внешнего мира поведения робота для выполнения поставленных пользователем задач требует наличия интеллектуальных свойств их систем управления (СУ) [1]. Поскольку о полноценно самостоятельной деятельности роботов говорить преждевременно, наиболее актуальными остаются супервизорные СУ, когда человек-пользователь имеет возможность участвовать в принятии решений о целесообразных действиях данного робота в данной ситуации.

Обеспечить комфортные условия участия человека в супервизорном режиме управления роботом могут соответствующие реализации интерфейса пользователя. Современные информационные технологии позволяют приблизить общение человека и робота к естественно воспринимаемому непрофессиональным пользователем уровню, опираясь на компьютерные решения таких задач, как распознавание и синтез речевой и визуальной информации, использование технологий виртуальной реальности для представления пространственной информации о среде функционирования робота.

В рамках Государственной научно-технической программы Украины «Образный компьютер» разрабатывается экспериментальная технология, позволяющая с привлечением методов искусственного интеллекта и современных вычислительно-коммуникационных возможностей реализовать информационное и программное обеспечение подвижной кибернетической системы – мобильного робота (МР), способного автономно выполнять различные задания, сформулированные удаленным пользователем. Пример реализации человеко-машинного взаимодействия и пути повышения его эффективности в системах такого класса показаны в данной статье.

Структурные решения СУ МР

Для любой биологической или технической системы с интеллектуальными возможностями реальный внешний мир существует в виде некоторой его модели, отображающей лишь те его свойства, которые данная система в силу присущих ей возможностей способна воспринять и отобразить в структурах внутреннего представления [2], [3]. Совокупность физически, методически, алгоритмически, программно либо аппаратно реализованных средств восприятия, способов анализа и интерпретации информации от внешнего мира конкретной системой определяют потенциальные ее возможности взаимодействия с внешними объектами, включая другие интеллектуальные системы.

Интеллектуальные свойства СУ МР основываются на использовании в них элементов искусственного интеллекта:

– формирование и распознавание образов по информации от внешнего мира;
– моделирование внешней среды на основе сенсорной информации;
– планирование маршрутов перемещения в среде с препятствиями;
– планирование целенаправленной деятельности МР в целом;
– представление знаний, вывод новых знаний, механизмы обучения и т.п.

Для СУ верхнего уровня МР первостепенно важным является наличие эффективных структур динамического обновления и хранения модели мира, их программной реализации в вычислительной среде робота, распределение зон памяти для совместного анализа модельной и реальной информации о текущем состоянии робота и окружающего мира. При этом тот набор параметров внешней среды, который способен оценить конкретный МР, и определяет необходимый набор параметров для описания в его базе знаний (БЗ) моделей окружающих объектов.

Разрабатываемый для практических исследований МР как экспериментальный программно-аппаратный комплекс в настоящее время имеет такие базовые модули:

– подвижная платформа с одним опорным самоориентирующимся и двумя ведущими колесами, способная перемещаться в помещениях по горизонтальной поверхности, оснащенная исполнительным органом («рука» с захватным устройством) и имеющая программно-аппаратно реализованные модули управления приводами колес платформы и подвижных сочленений исполнительного органа;
– программно-аппаратный модуль, имеющий различные физические каналы восприятия информации о внешней среде в виде сенсорной CAN-сети и программно реализованные преобразования каждого вида информации в структуры внутреннего ее представления в СУ верхнего уровня;
– программно реализованная двухмодульная СУ верхнего уровня, обеспечивающая целенаправленное поведение МР, с соответствующим программным обеспечением (ПО) всех необходимых вычислительно-коммуникационных процессов;
– ПО интерфейса пользователя, обеспечивающее генерацию естественно воспринимаемых визуальных образов виртуальной реальности и речевых сообщений, отображающих текущее состояние МР и доступ к формированию команд и заданий роботу в графическом или голосовом режимах, а также к редактору моделей внешнего мира и МР.

Рассматриваемый экспериментальный образец МР оснащен жестко закрепленными относительно корпуса подвижной платформы видеокамерой, тремя сенсорами безопасности движения и четырьмя сенсорами-дальномерами. Их схематичное расположение относительно корпуса МР показано на рис. 1.

В принятом подходе система верхнего уровня управления МР представляет собой два базовых программных модуля – Windows-приложения, разрабатываемые на основе объектно- и компонентно-ориентированного программирования в среде Delphi и технологии многопотоковых вычислительных процессов [4], [5]. Один из модулей СУ отвечает

за взаимодействие физических компонентов МР с реальным внешним миром и процессы управления ими. Второй – за адекватное реальному функционирование модели МР в виртуальном мире. Совместный анализ всей доступной информации – модельной и реальной – дает возможность своевременно корректировать внутреннее представление МР о внешнем мире и принимать решения о целесообразных действиях системы в целом. Общая схема распределения и взаимосвязи модулей СУ показана на рис. 2.

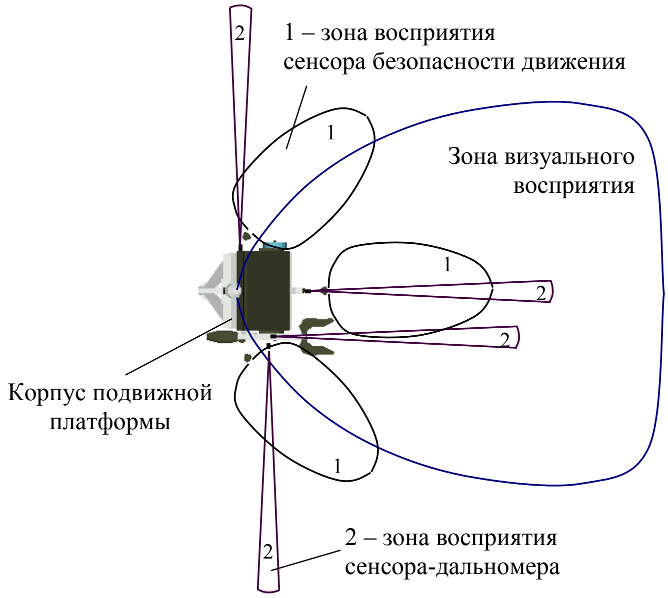


Рисунок 1 – Геометрическая модель МР и зон восприятия внешнего мира (вид сверху)

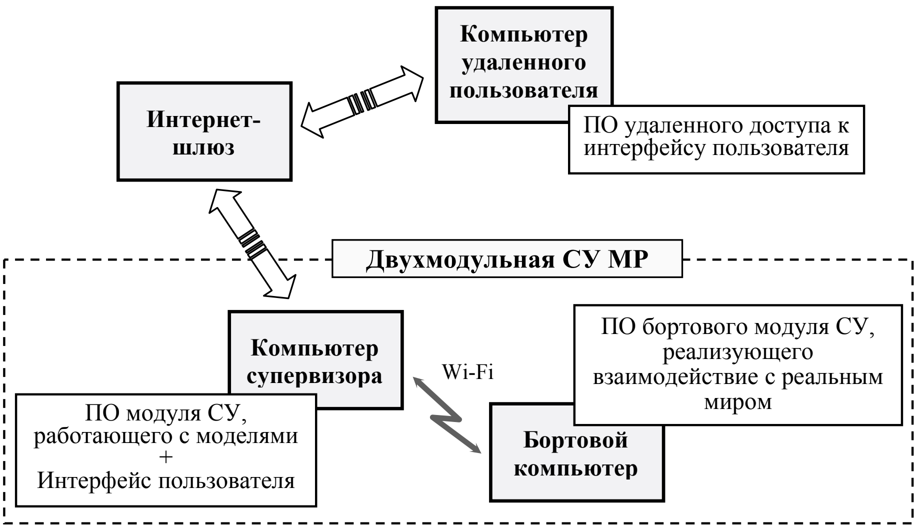


Рисунок 2 – Состав вычислительно-коммуникационной среды и программного обеспечения СУ МР

За ведение внутренних представлений мира и правил поведения в нем отвечает база знаний (БЗ), основные составляющие которой – динамически обновляемые 3D-модели внешнего мира; математические модели функциональных модулей робота, отвечающие за синхронные с реальными модельные процессы; иерархически организованная трехуровневая библиотека правил поведения (БПП) робота во внешнем мире [4].

Основу модельного представления внешнего мира в СУ МР составили математическое описание твердотельных объектов в виде совокупностей выпуклых многогранников и программная реализация структур их хранения и формирования изображений пространственных сцен. Геометрические 3D-модели подвижной платформы МР, зон визуальной и сенсорной чувствительности вместе с кинематической моделью движения позволяют динамически формировать модели восприятия внешнего мира данным МР. Программные реализации алгоритмов распознавания нескольких типов объектов по визуальной информации, анализа составляющих доминирующих цветов поверхности объектов, формирования пространственных моделей объектов по сенсорной информации, включенные в СУ в виде самостоятельных компонентов, позволили расширить возможности пространственного восприятии реального робота и его отображения в модели мира.

БПП МР содержит алгоритмы интерпретации различной информации и управления отдельными программными и аппаратными компонентами робота, а также его деятельностью в целом, формируя иерархию взаимосвязей условных и ситуативных реакций и целевых поведений всех модулей МР. Чем разнообразнее набор таких алгоритмов и гибче организованы механизмы выбора адекватных ситуации реакций СУ, тем шире автономные возможности робота. Использование структур БПП приводит СУ МР к гибридному типу, сочетающему программное, реактивное и ситуативное управление.

Для эффективного человеко-машинного взаимодействия помимо удобных для человека каналов информационного обмена важно наличие некоторого структурного сходства внутреннего представления восприятия внешнего мира человеком и СУ технической системы.

Интеграция компонентов интерфейса пользователя и СУ МР

БЗ робота фактически содержит некоторые абстракции, которыми оперирует СУ верхнего уровня при анализе текущего состояния МР, используя модели внешнего и внутреннего мира и правил поведения робота в нем. Приближение таких абстракций к понятиям и образам, которыми мог бы оперировать человек при самостоятельном выполнении назначаемых роботу заданий, может существенно повысить комфортность супервизорной СУ.

Визуальное восприятие пространственных сцен для человека наиболее естественно и информативно. С появлением общедоступных (практически на базе операционных систем персональных компьютеров) технологий визуализации пространственных сцен, их широко стали использовать в робототехническом ПО. Как правило, компьютерная генерация необходимых ракурсов таких сцен с успехом применяется в программных пакетах моделирования МР [6] и реже – непосредственно в процессах управления ими [7].

Помимо визуального мировосприятия для человека важен звуковой канал с особой ролью речи. Расширение БЗ геометрических моделей внешнего мира робота и выполняемых им, согласно БПП, действий звуковыми и вербальными индикаторами, выраженными в языке, обеспечивает СУ словарем звуковых сигналов и имен объектов, их воспринимаемых свойств и пространственных отношений, связей, событий и действий. Такое расширение БЗ как совокупности всех видов информации, способствующих управлению целенаправленной деятельностью технической системы [8], подготавливает почву для разработки и интеграции в СУ МР семантической модели мира, что приведет к углублению роли речевых технологий в человеко-машинном интерфейсе и переходу от чисто командно-пусковой функции к анализу смыслового содержания речи.

В описываемой разработке гибридное управление МР, основанное на БПП, можно сравнить с уровнем рефлексов и инстинктов у биологических систем, когда еще нет оснований говорить о мышлении и языке. Но и на этом уровне присутствует логика отношений «что», «где», «какой» и соответствующих действий, поэтому уместно введение словаря имен объектов, их свойств, названий действий, обозначения направлений и т.п., что позволяет формировать несложные текстовые фразы о восприятии внешнего мира и состоянии МР, выполняемых им действиях.

Использование одних и тех же внутренних структур представления модели внешней среды как самой СУ робота в процессах принятия решений, так и в динамической генерации компьютерных изображений пространственных сцен рабочей обстановки робота и синтезе соответствующих звуковых и речевых сообщений в интерфейсе пользователя, не только снижает нагрузку на вычислительные ресурсы, обеспечивающие функционирование робота, но и упрощает взаимодействие человека и технической системы, создавая некоторое подмножество единых образов и вербальных представлений о среде функционирования робота и его состоянии (рис. 3).

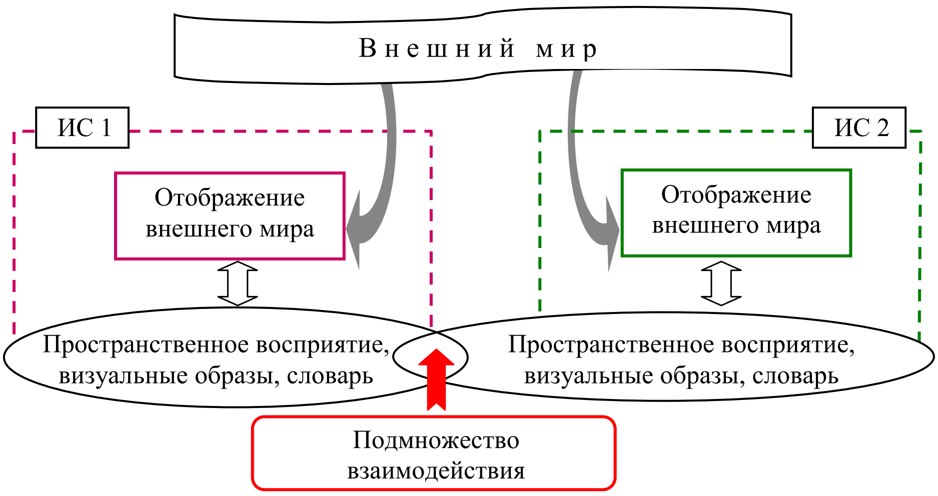


Рисунок 3 – Схема взаимодействия двух интеллектуальных систем

Пример реализации интерфейса пользователя

Разработанное ПО среды моделирования и управления МР имеет многофункциональное назначение и может быть использовано в двух режимах: автономное моделирование и супервизорное управление реальным роботом.

В первом случае пользователь имеет доступ к моделированию и управлению МР только в 3D-виртуальной среде, что позволяет на уровне компьютерных моделей освоить интерфейс пользователя, изучить суть доступных заданий из БПП, соответствующие целевые состояния МР и необходимые для их однозначного определения параметры, последовательность их формулирования средствами графического или голосового интерфейса, понять, в каких промежуточных ситуациях может оказаться робот, какое вмешательство оператора-супервизора понадобится для оптимального штатного функционирования робота, какие голосовые сообщения может генерировать СУ МР, каким словарем располагает БЗ и т.п. Кроме того, в автономном режиме доступен редактор/конструктор 3D-моделей и словаря, редактор параметров моделей всех функциональ-

ных модулей МР. Для разработчика СУ интерфейс позволяет в модельном режиме проверять эффективность используемых математических моделей и алгоритмов управления целенаправленными действиями МР, в том числе алгоритмов распознавания образов (визуальных, голосовых, сенсорных).

В супервизорном режиме управления удаленным роботом пространственные модели МР и окружающей его среды в интерфейсе пользователя помогают получить представление о взаимном расположении робота и объектов внешнего мира, причем как в ходе выполнения данных ему заданий, так и на стадиях их формулирования. При отсутствии иных каналов наблюдения за средой функционирования удаленного МР это существенно снижает нагрузку на пользователя при управлении роботом. В главном окне интерфейса пользователя использованы два ракурса 3D-моделей внешнего мира робота: управляемый пользователем произвольный ракурс и программно предопределенный вид сверху (рис. 4).

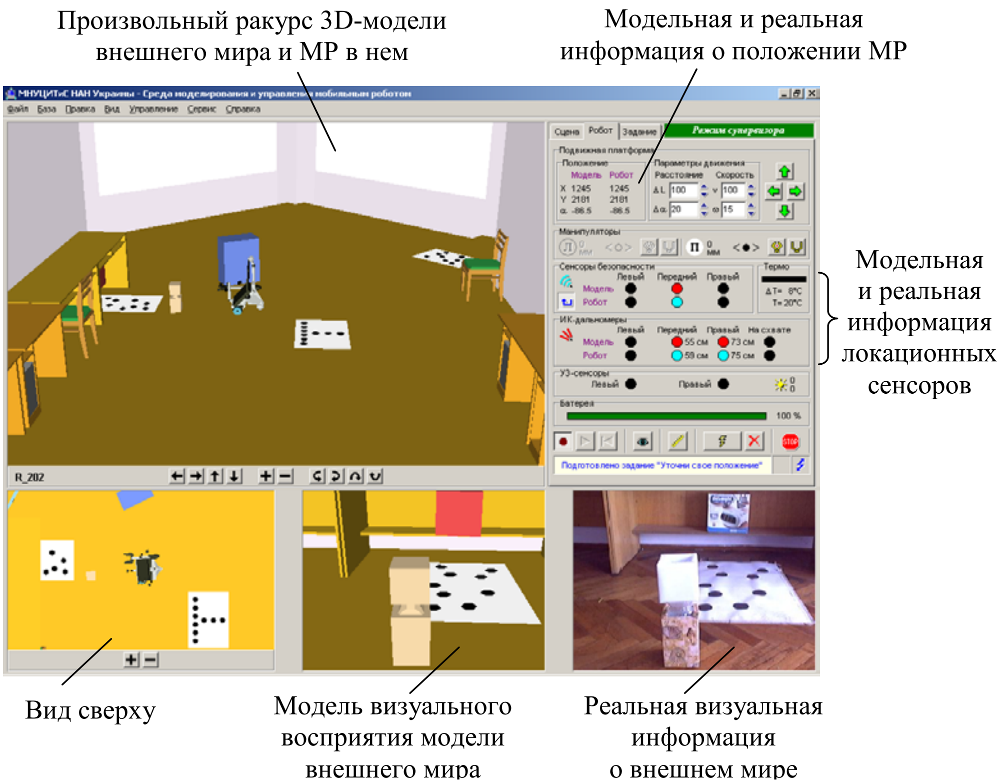


Рисунок 4 – Общий вид главного окна графического интерфейса оператора-супервизора

В супервизорном режиме управления происходит мониторинг и сравнительная оценка информационных потоков реальных и модельных данных о воспринимаемом роботом внешнем мире и его положении в нем. Пользователю доступна вся эта совокупность информации.

Оператор-супервизор имеет доступ к библиотеке типовых заданий для автономного функционирования МР, общаясь с удаленным реальным роботом на уровне естественно воспринимаемых образов высокой степени абстракции – виртуальных пространственных сцен и естественно-языковых команд и сообщений. Частично функции супервизора автоматизированы, и нештатное рассогласование модельной и реальной информации отслеживается реализованными в СУ алгоритмами анализа текущих состояний МР с

активизацией при необходимости соответствующих правил из БПП. Например, превышение накопленной ошибки одометрии, опирающейся на модельную оценку пройденного пути, порождает автоматическое прерывание текущей деятельности робота и активизацию задания «Уточни свое положение» по специализированным визуальным ориентирам, а рассогласование модельных и реальных показаний сенсоров-дальномеров активизирует задание «Исследуй объекты», которое обеспечит соответствующую коррекцию модели мира.

Принятые структуры ПО СУ позволяют без изменений программного кода пополнять БПП алгоритмами всех трех уровней иерархии. Разработанные для персонального МР, функционирующего в помещениях, задания могут быть легко сформулированы пользователем средствами графического интерфейса либо голосового управления для дальнейшего автономного выполнения их роботом. Например, доступны такие задания:

«Перейди» – движение из текущего положения в заданное с обходом препятствий и, при необходимости, построением их пространственных моделей по сенсорному восприятию;

«Возьми объект» – движение к указанному объекту, положение которого уже известно в модели мира, и взятие его захватным устройством;

«Изучи объект» – движение вокруг объекта с построением его пространственной модели по сенсорному восприятию и сбором визуальной информации о нем;

«Осмотрись и распознай» – разворот в указанном направлении на заданный угол с анализом визуальной информации, докладом о распознанных объектах и коррекцией модели внешнего мира;

«Определи свое положение» – определение положения для первичной локализации либо уточнения положения подвижного модуля по текущей визуальной информации о специализированных объектах-ориентирах и БЗ о модели внешнего мира и т.п.

Определенным образом собранные последовательности базовых заданий из БПП позволяют конструировать новые виды автономной деятельности МР. Например, составное задание «Рассортируй объекты» обеспечивает длительную автономную работу МР, связанную с поиском в помещении указанных по имени объектов – участников сортировки, и их переносом в заданные положения.

При выполнении всех заданий необходимые передвижения подвижного модуля осуществляются с обходом препятствий. Выполнение всех заданий сопровождается динамической генерацией пространственных моделей среды функционирования подвижного модуля и его положения в нем, соответствующей коррекцией моделей внешнего мира и речевым докладом о стадиях выполнения заданий и состояниях подвижного модуля.

Выводы

Поиск путей повышения эффективности и комфортности общения человека и технической системы объединяет усилия исследователей различных научных направлений – нейрофизиологов, психологов, кибернетиков и др.

Экспериментальные образцы таких сложных технических систем, как МР, расширяют возможности исследователей в поисках наиболее эффективных структур СУ, реализующих в том или ином виде искусственный интеллект. Проверка теоретических подходов на практике позволяет глубже понять реальную сложность создания технических аналогов действительно интеллектуальных управляющих систем, какими обладают биологические системы.

Современные информационные, коммуникационные и компьютерные технологии позволили разработать экспериментальный комплекс, объединяющий МР и программную среду моделирования и управления роботом.

Интеграция компонентов интерфейса пользователя и СУ МР дала возможность частично автоматизировать функции супервизора по контролю рассогласования реального состояния МР и модельного представления внешнего мира и повысить эффективность комбинации автономных возможностей СУ МР и необходимых фаз участия человека-супервизора в формировании целевых установок роботу и отслеживании хода выполнения им соответствующих заданий, своевременно предоставляя ему информацию о текущем состоянии робота на уровне естественно воспринимаемых визуальных образов пространственных сцен и речевых сообщений.

Литература

1. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
2. Арбиб М. Метафорический мозг. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.
3. Рапопорт Г.Н., Герц А.Г. Искусственный и биологический интеллекты. Общность структуры, эволюция и процессы познания. – М.: КомКнига, 2005. – 312 с.
4. Сухоручкина О.Н. Структуры функциональной организации интеллектуализированного управления мобильной системой // УСиМ. – 2007. – № 3. – С. 26-33, 63.
5. Ільїн С.О. Особливості програмної реалізації системи керування мобільним роботом // УСиМ. – 2007. – № 4. – С. 28-42.
6. Webots™ 5: The Webots mobile robotics simulation software. – Режим доступа: http://www.cyberbotics.com/products/webots/.
7. Белоусов И.Р. Эффективное телеуправление роботами через сеть Интернет // Экстремальная робототехника: Материалы XII науч.-технич. конф. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.
8. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 359 с.

О.М. Сухоручкіна

Інтеграція компонентів інтерфейсу користувача та системи управління персонального мобільного робота: приклад реалізації

Розглянуті шляхи підвищення ефективності людино-машинної взаємодії при інтеграції структурних компонентів інтелектуальної системи управління мобільного робота та інтерфейсу користувача. Наведено приклад реалізації комплексного програмного забезпечення системи управління робота, здатного автономно виконувати сформульовані користувачем завдання.

Sukhoruchkina Olga N.

Integration of the User Interface Components and the Personal Mobile Robot Control System: an Example of the Implementation

The ways for the enhancement of the man-machine interface efficiency by means of the integration of the structural components of the intelligent mobile robot control system and the user interface are considered. An example of the implementation of the all-purpose robot supervisory control system software is given.

Статья поступила в редакцию 21.07.2008.